

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 77 04807

⑤④ Appareil et procédé pour détecter une crique à la surface d'un matériau porté à haute température.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.²). G 01 N 21/32; G 01 J 5/10; G 01 N 33/20.

②② Date de dépôt 18 février 1977, à 15 h 45 mn.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 37 du 15-9-1978.

⑦① Déposant : Société dite : NIPPON STEEL CORPORATION, résidant au Japon.

⑦② Invention de :

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Bert, de Keravenant et Herrburger, 115, boulevard Haussmann,
75008 Paris.

L'invention concerne un appareil et un procédé pour détecter une crique à la surface d'un matériau et notamment d'un métal chaud tel que de l'acier, par mesure photo-électrique de l'énergie de rayonnement émise par le matériau à haute température, et/ou par l'énergie réfléchie correspondant à un faisceau de rayons lumineux envoyés à la surface du matériau, et par calcul de la différence entre l'énergie mesurée en fonction de la différence de la température de la partie normale et de la partie défectueuse de ce matériau.

Comme indiqué ci-dessus, les procédés de détection des criques de surface, connus actuellement consistent à détecter de telles criques par détection du rayonnement infrarouge d'un métal chaud, en utilisant un élément de conversion photo-électrique à infrarouge. De façon générale, l'objet défini ci-dessus peut être réalisé même à l'aide de ce procédé de détection infrarouge.

Cependant, il y a certaines fluctuations au niveau de la température de surface du métal chaud, même dans sa partie normale, si bien qu'il y a également certaines fluctuations dans l'échelle de la surface de ce matériau. Pour ces diverses raisons, il est impossible de détecteur parfaitement la différence d'énergie rayonnante entre la partie normale et la partie défectueuse en tenant compte de la fluctuation de l'énergie rayonnante de la partie normale. Il en résulte que le procédé de détection de la crique de surface par détection du rayonnement infrarouge n'a pas été possible actuellement.

Partant d'essais détaillés et de l'analyse théorique concernant le procédé décrit ci-dessus pour la détection de la crique de surface par la différence d'énergie rayonnée, on utilise une caméra de télévision comme moyen permettant de détecter l'optimum d'énergie rayonnée et l'optimum de l'énergie réfléchie correspondant au rayonnement incident, pour détecter la crique de surface du métal chaud.

A cet effet, l'invention concerne un appareil de détection des criques de surface d'un matériau, dans lequel l'énergie rayonnante émise par la surface du matériau à haute température et/ou l'énergie réfléchie correspondant à une lumière stroboscopique, incidente à la surface du matériau, sont détectées par l'intermédiaire d'un détecteur photo-électrique pour détecter la crique de surface du matériau, cet appareil comprenant une caméra de télévision pour détecter l'énergie rayonnante et/ou l'énergie réfléchie

par la surface du matériau, un obturateur prévu devant le tube images de la caméra de télévision pour obtenir l'image rémanente de la matière mobile, par la caméra de télévision, un circuit de commande d'assombrissement, prévu entre la borne de sortie de la caméra de télévision et la borne d'entrée d'un circuit de reconnaissance des défauts pour corriger la fluctuation de sortie dans un plan de détection d'images du tube de prise d'images de la caméra de télévision.

La présente invention sera décrite de façon plus détaillée et notamment sur le plan des essais et de la théorie, concernant l'application d'une caméra de télévision à la détection de l'énergie rayonnante émise par la surface d'un métal chaud, à l'aide des dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un diagramme montrant la relation entre la longueur d'onde et l'énergie émise par rayonnement d'un corps noir.

- la figure 2 est un graphique montrant la relation entre la longueur d'onde et le rapport W_2/W_1 , pour une largeur de la zone de la longueur d'onde de transmission ($\lambda_1 - \lambda_2$) constant.

- la figure 3 est un graphique montrant la relation entre la longueur d'onde λ , et l'énergie de rayonnement.

- les figures 4 et 5 représentent un modèle de signal d'onde obtenu par balayage d'une plage prédéterminée de la surface du matériau lorsque le champ d'examen de l'élément de conversion photo-électrique est ponctuel.

- la figure 6 est un graphique montrant la relation entre la différence de température de la partie normale et de la partie défectueuse et le rapport W_n/W_1 de l'énergie reçue de façon efficace correspondant à l'énergie de rayonnement.

- les figures 7(a) et 7(b) représentent l'image résiduelle de passage et l'image résiduelle normale.

- la figure 8 est un schéma-bloc électrique d'un exemple d'obturateur de l'invention.

- la figure 9 représente des modèles de temps du fonctionnement de l'obturateur à grande vitesse de la figure 8.

- les figures 10(a) et 10(b) des modèles d'onde de signaux avant la correction d'assombrissement et après la correction d'assombrissement.

- les figures 11(a) et 11(b) sont analogues aux figures 10(a) et 10(b) sauf qu'elles concernent une ligne de balayage

horizontal prise dans les figures 10(a) et 10(b).

- la figure 12 est un schéma-bloc d'un exemple de circuit de correction d'ombre selon l'invention.

5 - les figures 13, 14, 15 représentent des exemples caractéristiques de criques apparaissant à la surface du matériau.

- la figure 16 est un schéma de l'état de surface d'une partie normale comprenant une partie défectueuse.

- la figure 17 est un schéma de l'angle d'incidence de la lumière constituée par un éclair stroboscopique.

10 - la figure 18 est un graphique montrant le comportement en réflexion de la lumière.

- la figure 19 est un schéma illustrant l'état de surface d'un matériau écrouté à chaud.

15 - la figure 20 est un schéma expliquant le procédé de détection d'une crique de surface d'un acier chaud, après la coulée.

L'intensité spectrale de l'énergie de rayonnement émise par un produit est généralement donnée par la formule suivante :

$$20 \quad Me_{\lambda} = \frac{\epsilon c_1}{\lambda^5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

Dans cette formule :

Me_{λ} : énergie de rayonnement (W/cm^3)

c_1 : $3,7402 \times 10^{-12} W \cdot cm^2$

25 c_2 : $1,43848 cm \cdot ^\circ K$

T : température absolue ($^\circ K$) de l'élément rayonnant.

λ : longueur d'onde (en cm) d'un rayonnement radio-actif.

ϵ : émissivité de l'élément rayonnant.

30 Dans le schéma de la figure 1, la longueur d'onde λ_p qui représente l'intensité spectrale maximale de l'énergie de rayonnement donne les valeurs indiquées. Il est à remarquer à la figure 1 que la différence entre l'énergie de rayonnement d'un corps noir à une température T_1 et celle d'un corps noir à une température T_2 est supérieure pour les faibles longueurs d'onde que pour les
35 fortes longueurs d'onde ; la longueur d'onde λ_p qui représente l'intensité spectrale maximale constitue la frontière entre ces deux cas. Cela signifie que la différence de l'énergie de rayonnement engendrée par la différence de température de la surface du matériau tel qu'un acier chaud, est ainsi plus grande du côté de
40 la longueur d'onde qui est la plus courte que la longueur d'onde λ_p .

Cela sera décrit en détail ci-après.

Dans le cas d'un filtre optique à bande passante qui présente un coefficient de transmission nul pour les longueurs d'onde inférieures à λ_1 , un coefficient 1,0 pour les longueurs d'onde comprises entre λ_1 et λ_2 et un coefficient zéro pour les longueurs d'onde dépassant λ_2 est placé devant un détecteur de rayonnement ; l'énergie de rayonnement W_1 de la surface à la température T_1 et l'énergie de rayonnement W_2 de la surface à la température T_2 sont mesurées respectivement ; le rapport W_2/W_1 est donné par la formule suivante :

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_e \lambda d\lambda (T_2)}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_e \lambda d\lambda (T_1)} \dots\dots (2)$$

Comme cela résulte clairement de la figure 2, la différence ou le rapport entre les énergies de rayonnement c'est-à-dire W_2/W_1 augmente lorsque la longueur d'onde λ_1 ou λ_2 diminue.

Il résulte de ce qui précède que s'il est souhaitable de détecter toute crique de surface du matériau par détection de la différence de l'énergie de rayonnement en fonction de la différence de la température entre la partie normale et la partie défectueuse du matériau, la différence d'énergie de rayonnement entre la partie normale et la partie défectueuse augmente si l'énergie de rayonnement est mesurée du côté d'une longueur d'onde réduite, particulièrement du côté d'une longueur d'onde plus faible que la longueur d'onde qui correspond à l'énergie de rayonnement, maximale.

Selon la présente invention, la température du métal chaud dont on veut détecter les criques de surface, peut se situer dans une plage comprise entre 650°C et 1200°C. Dans cette plage de température, la longueur d'onde λ_p qui donne l'énergie de rayonnement maximale est de l'ordre de 2 microns à 3 microns. Cependant dans ce cas, l'énergie de rayonnement dans toute la plage de la longueur d'onde est elle-même faible et en particulier l'énergie de rayonnement du côté de la longueur d'onde inférieure à λ_p est faible. C'est pourquoi, l'énergie de rayonnement que l'on veut mesurer devient extrêmement faible comme cela résulte clairement de l'exemple expérimental de la figure 3.

Si l'énergie de rayonnement à mesurer est faible, la précision de la détection de la différence de l'énergie de rayon-

nement entre la partie normale et la partie défectueuse diminue par suite du bruit. Ainsi, on ne peut fixer de bandes de mesure du côté des longueurs d'onde courtes. Dans le cas où l'on réalise un moyen de mesure par amplification d'un signal de conversion photo-électrique, il existe un bruit provenant de l'élément de conversion photo-électrique et de la photocathode, un bruit provenant de l'amplificateur et un bruit thermique etc ; ces divers bruits peuvent être amplifiés et donnent un bruit blanc. Si le signal présentant des informations de mesure est égal ou inférieur au bruit blanc, le signal peut être noyé dans ce bruit, si bien que la mesure devient impossible.

En conséquence, il est nécessaire que le niveau de sortie donné par l'énergie de rayonnement de la partie normale présente une valeur au moins double à celle du bruit blanc et que la différence du niveau de sortie engendré par la différence de l'énergie de rayonnement entre la partie normale et la partie défectueuse présente une valeur notablement plus grande que la valeur du bruit blanc.

Ainsi selon l'invention, dans un métal chaud, dont on veut déceler les criques, les résultats expérimentaux montrent que la différence de température entre la partie normale et la partie défectueuse présentant une crique, telle que par exemple une trace d'écrouissage, est de l'ordre de 15°C et la partie défectueuse a une température plus faible que la partie normale.

De plus, il résulte de la mesure réelle de la différence de température entre la partie normale et la partie défectueuse, dans diverses criques analogues du métal chaud, dans la mesure où l'on veut détecter les criques de façon pratique, qu'à la différence de température entre la partie normale et la partie défectueuse est supérieure à 15°C pour toutes criques.

Lorsqu'on balaie une plage déterminée de la surface du matériau, en réduisant le champ d'inspection de l'élément de conversion photo-électrique, à une zone ponctuelle, on obtient un modèle d'onde de signal tel que celui de la figure 4. Selon la figure 4, la référence W_{pp} est la valeur de pic à pic du bruit blanc ; la référence S_n est le niveau de sortie de la partie normale ; d est le signal de crique et S_f est le signal de sortie correspondant à la différence de l'énergie de rayonnement entre la partie normale et la partie défectueuse.

Les résultats d'autres essais ont été classés de façon

que la fluctuation de la sortie engendrée par la fluctuation de la température à l'intérieur de la partie normale ou par la fluctuation de la température engendrée par un corps étranger tel que des scories etc, puisse exister dans la mesure de 1,5 fois la valeur W_{pp} du bruit blanc. Si ce niveau de 1,5 W_{pp} est considéré comme niveau de bruit, il est nécessaire au préalable que la différence du niveau de sortie entre la partie normale et la partie défectueuse ou encore S_f soit au moins égale à trois fois la valeur de W_{pp} du niveau blanc suivant la formule ci-dessus, pour satisfaire à la condition correspondant à la possibilité d'une mesure pratique c'est-à-dire pour que le rapport du signal au bruit (S/N) soit au moins égal à 2.

$$S_f/W_{pp} \geq 3 \quad \dots\dots (3)$$

Lorsqu'on effectue la détection d'une crique telle qu'une fissure dans laquelle la température de la partie défectueuse est inférieure à celle de la partie normale comme représenté schématiquement à la figure 4, la formule utilisée est la suivante :

$$S_n \geq S_f \quad \dots\dots (4)$$

Ainsi, si l'on pose $S_n/W_{pp} \equiv a$, la formule suivante peut se déduire des formules (3) et (4) ci-dessus :

$$S_n/W_{pp} = a \geq S_f/W_{pp} \geq 3 \quad \dots\dots (5)$$

Comme la valeur de la formule (3) a été donnée comme condition nécessaire en pratique, le problème consiste à trouver la plage pour le rapport W_n/W_d , satisfaisant à la formule (3). Dans ces conditions, W_n est l'énergie reçue de façon efficace correspondant à l'énergie de rayonnement de la partie normale ou partie à haute température et W_d est l'énergie efficace reçue correspondant à l'énergie de rayonnement de la partie défectueuse ou partie à température plus faible. De façon générale, le signal de sortie S_n de l'élément de conversion photo-électrique ou de la photocathode est lié au rayonnement incident W dans la plage dynamique représentée par la formule (6) ci-après :

$$S_n = \alpha W^\beta \quad \dots\dots (6)$$

dans la formule, α et β sont des constantes liées à l'élément de conversion photo-électrique ou photocathode. On déduit la formule (7) suivante en partant de la formule (6) selon la figure 4 :

$$S_n = \alpha W_n^\beta \quad \dots\dots (7)$$

Dans cette formule W_h est l'énergie lumineuse efficace de l'énergie de rayonnement de la partie à température élevée ou partie normale :

$$S_n - S_f = \alpha W_h^\beta \quad \dots\dots (8)$$

5 dans cette formule W_l est l'énergie lumineuse efficace de l'énergie de rayonnement de la partie à température faible ou partie défectueuse.

Les formules (3) à (8) permettent de déduire les formules suivantes :

$$10 \quad \frac{S_n}{S_n - S_f} = \frac{S_n/W_{pp}}{S_n/W_{pp} - S_f/W_{pp}} = \frac{a}{a - S_f/W_{pp}} \geq \frac{a}{a-3} \quad \dots (9)$$

$$15 \quad \frac{S_n}{S_n - S_f} = \frac{\alpha W_h^\beta}{\alpha W_l^\beta} = \left(\frac{W_h}{W_l} \right)^\beta \quad \dots\dots\dots (10)$$

Les formules (9) et (10) ci-dessus entraînent la formule suivante :

$$20 \quad \frac{W_h}{W} \geq \left(\frac{a}{a-3} \right)^{1/\beta} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Ainsi, lors de la détection d'une crique, la température de la partie défectueuse étant inférieure à celle de la partie normale, on peut détecter la crique avec une précision réalisable en pratique, si l'on utilise un circuit de mesure de l'énergie de rayonnement dans lequel le rapport de l'énergie efficace reçue W_h correspondant à l'énergie de rayonnement de la partie à température élevée (partie normale) à l'énergie efficace reçue W_l correspondant à l'énergie de rayonnement de la partie à faible température (partie déficiente). cela signifie que W_h/W_l satisfait à la formule (16). Suivant les résultats expérimentaux concernant un métal chaud, le rapport a du niveau de sortie de la partie normale pour la valeur de pic à pic du bruit blanc du circuit de mesure

25 donne une valeur de l'ordre de 10 à 40. La constante β est de l'ordre de 0,67 pour un tube vidicon et de l'ordre de 0,87 pour un tube Chalnicon, de l'ordre de 0,96 pour un tube Si-vidicon et de l'ordre de 0,99 dans les meilleures conditions pour un élément de conversion photo-électrique à semi-conducteur ou phototube.

40 La figure 6 représente les données expérimentales du

- rapport W_h/W_l de l'énergie efficace reçue correspondant à l'énergie de rayonnement, en fonction des différences de températures ΔT entre la partie normale et la partie défectueuse. La mesure ré l le faite pour une partie normale à la température de 1173°K (900°C)
- 5 dans le cas d'une bande de longueur d'onde de transmission comprise entre 0,5 micron et 1,0 micron (courbe i) et 2,0 microns à 5,0 microns (courbe ii).

- On voit que le rapport S/N peut être amélioré jusqu'à 3,5 fois si la bande de la longueur d'onde de transmission est
- 10 située du côté de la longueur d'onde courte, pour une même différence de température. Cela peut également être montré par les essais suivants :

Essai N°1 :

- | | |
|---------------------------------------|---|
| Matériau examiné | lingot d'acier |
| 15 Température du matériau | 1150°C (1423°K) |
| | $\lambda_p = 2,04$ microns. |
| Détecteur de l'énergie de rayonnement | tube vidicon |
| | longueur d'onde du spectre sensible principal comprise entre 0,4 micron et 0,73 micron. |

20

Dans le cas d'une fissure :

$$25 \quad \frac{W_h}{W_l} = \frac{\int_{\lambda_1=0,4}^{\lambda_2=0,73} Me \lambda d \lambda (T_h = 1423^\circ K)}{\int_{\lambda_1=0,4}^{\lambda_2=0,73} Me \lambda d \lambda (T_l = 1408^\circ K)} = 1,179,$$

$$S_n/W_{pp} = a = 32, \quad \text{et}$$

$$30 \quad \left(\frac{a}{(a-3)} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{32}{29} \right)^{\frac{1}{0,67}} = 1,158$$

Cela satisfait à la condition $W_h/W_l > \left(\frac{a}{a-3} \right)^{\frac{1}{3}}$.

- Lorsqu'on détecte une crique du côté de la température
- 35 élevée, tel que le côté d'une fissure, on a :

$$40 \quad \frac{W_h}{W} = \frac{\int_{\lambda_1=0,4}^{\lambda_2=0,73} Me \lambda d \lambda (T_h = 1438^\circ K)}{\int_{\lambda_1=0,4}^{\lambda_2=0,73} Me \lambda d \lambda (T_l = 1423^\circ K)} = 1,179, \quad \text{et}$$

$$\left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{35}{32}\right)^{\frac{1}{0,67}} = 1,1084$$

Cela satisfait à la relation $\frac{W_h}{W_l} > \left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{\beta}}$.

5

Par ailleurs, lorsqu'on utilise un détecteur d'énergie de rayonnement comportant un élément de détection de l'uminière infra-rouge ($H_g(1-x)Cd(x)Te$) dans lequel la longueur d'onde du spectre sensible principale est comprise entre 2 microns et 5 microns, la

10 formule suivante :

$$\frac{W_h(T_2 = 1423^\circ K)}{W_l(T_1 = 1408^\circ K)} = 1,042$$

s'applique à une crique du côté basse température alors que la

15 formule :

$$\frac{W_h(T_2 = 1438^\circ K)}{W_l(T_1 = 1423^\circ K)} = 1,042$$

s'applique à une crique du côté haute température.

20 Dans cet élément de détection, même si la grandeur "a" correspond à la valeur maximale $S_n/W_{pp} = 40$ et si " β " prend la valeur maximale soit $\beta = 1$, on a les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{a}{a-3} \right\}^{\frac{1}{\beta}} &= 40/37 = 1,081 \text{ et} \\ \left\{ \frac{a+3}{a} \right\}^{\frac{1}{\beta}} &= 43/40 = 1,075; \end{aligned}$$

25

si bien :

$$\begin{aligned} \frac{W_h}{W_l} &< \left(\frac{a}{a-3}\right)^{\frac{1}{\beta}}, \text{ et} \\ \frac{W_h}{W_l} &< \left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{\beta}}. \end{aligned}$$

30

De cette façon, on ne peut avoir une valeur satisfaisante pour S/N, ce qui ne permet d'assurer une détection avec une préci-

35

Essai N°2 :

Matériau essayé

plaque d'acier épaisse

Température du matériau

896°C (1169°K)

$\lambda_p = 2,48$ microns.

40 Détecteur d'énergie de rayonnement

tube Si-Vidicon, longueur d'onde du spectre sensible principal comprise entre 0,4 et 0,73 micron.

Lorsqu'on détecte une crique du côté basse température dans les conditions ci-dessus, on a :

$$5 \quad \frac{W_h}{W_\ell} = \frac{\begin{matrix} \lambda_2 = 0,73 \\ \lambda_1 = 0,4 \end{matrix} \text{ Me } \lambda_d \lambda (T_h = 1169^\circ\text{K})}{\begin{matrix} \lambda_2 \\ \lambda_1 \end{matrix} \text{ Me } \lambda_d \lambda (T_c = 1154^\circ\text{K})} = 1,195$$

$$10 \quad S_n/W_{pp} = 35, \quad \text{et}$$

$$\left(\frac{a}{a-3}\right)^{\frac{1}{10}} = \left(\frac{35}{32}\right)^{\frac{1}{0,96}} = 1,0978$$

Cette valeur satisfait à la formule /

$$15 \quad \frac{W_h}{W_\ell} > \left(\frac{a}{a-3}\right)^{\frac{1}{10}}$$

Lorsqu'on détecte une crique du côté haute température, on a

$$20 \quad \frac{W_h}{W_\ell} = \frac{\begin{matrix} \lambda_2 = 0,73 \\ \lambda_1 = 0,4 \end{matrix} \text{ Me } \lambda_d \lambda (T_h = 1184^\circ\text{K})}{\begin{matrix} \lambda_2 = 0,73 \\ \lambda_1 = 0,4 \end{matrix} \text{ Me } \lambda_d \lambda (T = 1169^\circ\text{K})} = 1,196,$$

$$25 \quad \text{et} \quad \left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{10}} = \left(\frac{38}{35}\right)^{\frac{1}{0,96}} = 1,08944$$

Cela satisfait à la formule

$$30 \quad \frac{W_h}{W_\ell} > \left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{10}}$$

35 Par ailleurs, si l'on utilise comme détecteur d'énergie de rayonnement le même élément de détection de lumière infrarouge Hg(1-x) Cd (x) Te comme ci-dessus, dans lequel la longueur d'onde du spectre sensible principal est située dans la plage comprise entre 2 microns et 5 microns, on a les formules :

$$\frac{W_h (T_2 = 1169^\circ\text{K})}{W_l (T_1 = 1154^\circ\text{K})} = 1,056$$

et

$$\left(\frac{a}{a-3}\right)^{\frac{1}{p}} = 1,081$$

ces formules s'appliquent à une crique du côté basse température
alors que les formules :

$$\frac{W_h (T_2 = 1174^\circ\text{K})}{W_l (T_1 = 1169^\circ\text{K})} = 1,056$$

et

$$\left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{p}} = 1,075$$

s'appliquent à une crique du côté haute température.

On a ainsi les formules :

$$W_h/W_l < \left(\frac{a}{a-3}\right)^{\frac{1}{p}}$$

et

$$W_h/W_l < \left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{p}}$$

ce qui ne permet pas d'obtenir un rapport S/N satisfaisant.

Essai N°3

Matériau examiné

poudre en H à bride large

Température du matériau

705°C (978°K)

25

 $\lambda_p = 2,96$ microns

Détecteur de l'énergie de
rayonnement

tube Si-Vidicon

longueur d'onde du spectre sensi-
ble principal comprise entre
0,4 micron et 0,73 micron.

Lorsqu'on détecte une crique du côté basse température,
dans les conditions ci-dessus, on a :

$$\frac{W_h}{W_l} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda d\lambda (T_2 = 978^\circ\text{K})}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda d\lambda (T_1 = 963^\circ\text{K})} = 1,322$$

$\lambda_2 = 0,73$
 $\lambda_1 = 0,4$

$$S_n/W_{pp} = 20$$

et

$$\left(\frac{a}{a-3}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{20}{17}\right)^{\frac{1}{0,90}} = 1,184$$

Cela satisfait à la relation :

$$\frac{W_h}{W_l} > \frac{a}{a-3}$$

Lorsqu'on détecte une crique du côté haute température,

on a :

$$\frac{W_h}{W_l} = \frac{\begin{matrix} \lambda_2 = 0,73 \\ \lambda_1 = 0,4 \end{matrix} \text{ Me } \lambda \text{ d } \lambda (T_2 = 983^\circ\text{K})}{\begin{matrix} \lambda_2 = 0,73 \\ \lambda_1 = 0,4 \end{matrix} \text{ Me } \lambda \text{ d } \lambda (T_1 = 978^\circ\text{K})} = 1,322$$

et

$$\left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{23}{20}\right)^{0,96} = 1,1567$$

Cela satisfait à la formule :

$$\frac{W_h}{W_l} > \left(\frac{a+3}{a}\right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Par ailleurs, lorsqu'on utilise comme détecteur d'énergie de rayonnement le même élément de détection d'infrarouge Hg (1-x) Cd(x) Te comme ci-dessus, élément dans lequel la longueur d'onde du spectre sensible principal est comprise entre 2 microns et 5 microns, on peut appliquer les formules suivantes :

$$\frac{W_h (T_2 = 978^\circ\text{K})}{W_l (T_1 = 963^\circ\text{K})} = 1,074$$

et

$$\left(\frac{a}{a-3}\right)^{\frac{1}{\beta}} = 1,081$$

à une crique située du côté basse température ; lorsque cette crique se trouve du côté haute température, on applique les formules suivantes :

$$\frac{W_h (T_2 = 983^\circ\text{K})}{W_\ell (T_1 = 978^\circ\text{K})} = 1,074$$

et

$$\left(\frac{a+3}{a} \right)^{1/5} = 1,075$$

De la sorte, on peut obtenir un rapport S/N satisfaisant puisque :

$$W_h/W < \left(\frac{a}{a-3} \right)^{1/5} \quad \text{et} \quad W_h/W_\ell < \left(\frac{a+3}{a} \right)^{1/5}$$

Comme cela résulte clairement de la description ci-dessus, on arrive à une solution optimale pour un détecteur servant à mesurer l'énergie de rayonnement émise par un matériau tel qu'un métal chaud, si l'on utilise un détecteur ayant un élément de conversion photo-électrique ou photocathode dont le spectre sensible principal se situe dans la plage des longueurs d'onde inférieures à la longueur d'onde donnée par l'intensité spectrale maximale de l'énergie de rayonnement émise par un métal chaud ou un détecteur ayant un filtre optique ne laissant passer que l'énergie de rayonnement de la plage de longueurs d'onde ci-dessus.

L'invention concerne l'application d'une caméra de télévision comme moyen de détection de l'énergie de rayonnement pour détecter avec une grande précision la différence de l'énergie de rayonnement engendrée par la différence de température entre la partie normale et la partie défectueuse d'un matériau tel qu'un métal chaud.

Dans une caméra de télévision usuelle, le signal vidéo est composé de 525 lignes de balayage et la surface d'image est généralement exposée pendant le balayage d'une trame c'est-à-dire généralement pendant 1/30 seconde. Ce temps d'exposition est cependant trop long pour la surface d'image, de sorte qu'il en résulte un effet d'affaiblissement de l'image par suite du mouvement dans le cas d'un matériau mobile dont on examine la surface.

Il en résulte qu'une image statique d'un sujet mobile selon la figure 7b devrait apparaître s'il n'y avait pas d'atténuation de l'image alors que l'on obtient l'image résiduelle de la figure 7a étant donné cet affaiblissement. Une telle image représentée à la figure 7a donne une onde de signal à contour cassé, ce qui ne permet d'arriver à un rapport S/N satisfaisant. C'est pourquoi, selon l'invention, on a un obturateur pour diminuer le temps d'exposition de la surface image de la caméra de télévision,

devant le tube-image, pour arriver à une image résiduelle telle que celle de la figure 7b. De façon générale, le tube-image présente un certain retard. La valeur du retard varie avec les caractéristiques de chaque tube de prise d'images mais généralement cela peut correspondre jusqu'à 25 %. Si un tel retard se produit lors du déplacement du matériau que l'on mesure, une crique peut apparaître à un emplacement ne comportant pas de crique ou qui ne comportait pas de crique dans la trame précédente, ce qui entraîne un niveau de bruit plus important. Par ailleurs, si la position du signal de crique dans la trame présente, et qui était la partie normale de la trame précédente donne un certain retard, le niveau du signal de crique tend à devenir voisin du niveau de signal de la partie normale, si bien que le niveau du signal sera abaissé, en abaissant par là même la valeur S/N.

Aux vues de ce qui précède, la synchronisation de l'obturateur actif et le temps d'exposition par l'obturateur de la caméra de télévision selon l'invention doivent être choisis de façon que la hauteur du signal par le retard, soit négligeable et que l'on puisse obtenir une image statique complète. Pour arriver à ce résultat, l'invention concerne un obturateur caractérisé en ce qu'il se compose d'un disque d'obturation rotatif assurant l'obturation de façon synchrone avec la période d'effacement de la caméra de télévision, un autre obturateur dont la durée d'obturation est inférieure à la moitié de la période d'action de l'obturateur à disque rotatif, mais supérieure au temps d'ouverture de l'obturateur à disque rotatif, le fonctionnement de l'obturateur étant assuré au temps de déclenchement de synchronisation par l'obturateur rotatif et un circuit de commande d'obturateur.

Suivant une autre caractéristique de l'invention, l'obturateur peut être réalisé de façon à s'ouvrir pendant 1/1000 de seconde avec un intervalle de quatre trames.

La figure 8 est un exemple d'un obturateur et de son schéma électrique. L'image de surface du matériau 3 est formée sur la photocathode du tube de prise d'images 8 de la caméra de télévision par l'intermédiaire d'une lentille 7 qui forme ainsi l'image.

Un obturateur à disque rotatif 9 est un obturateur interne 112 sont montés entre la lentille 7 qui forme l'image et le tube de prises d'image 8. Un signal de synchronisation verticale fourni par un circuit de synchronisation 10 est comparé à l'impul-

sion de sortie fournie par l'élément de détection constituant un obturateur 12, pour détecter le mouvement actif de l'obturateur 9 à l'aide d'un circuit de détection de différence de phase 11, fournissant une tension de sortie proportionnelle à la différence de phase des deux signaux, qui est appliquée au circuit de commande de tension continue 13. Ce circuit 13 commande la tension d'une source de courant continu 14 en fonction de la tension de sortie du circuit 11 de façon à diminuer éventuellement la différence de phase entre le signal de synchronisation verticale et l'impulsion de sortie de l'élément 12. Un circuit de commande 15 de la période de fonctionnement de l'obturateur, règle de façon préliminaire la tension de sortie de la source de courant continu de façon que le cycle de fonctionnement de l'obturateur 9 corresponde environ à la moitié du cycle du signal de synchronisation verticale de la caméra de télévision. La figure 9 est un schéma de la situation chronologique active de l'obturateur à grande vitesse dans l'exemple de la figure 8.

Selon la figure 9, la courbe (a) représente le signal de synchronisation verticale de la caméra de télévision ; la courbe (b) représente la commande en temps, actif, de l'obturateur à disque rotatif, correspondant au demi-cycle du signal de synchronisation verticale et le fonctionnement de synchronisation avec le signal de synchronisation verticale.

Le signal d'effacement du circuit 10 et l'impulsion de sortie de l'élément 12 sont appliqués comme signaux d'entrée à la porte ET, 100 qui crée un signal de sortie seulement si le produit logique de la fonction ET existe ou seulement si le temps actif de l'obturateur à disque rotatif existe dans le signal d'effacement.

La porte ET, 102 crée un signal de sortie seulement si le produit logique ET existe entre le signal de commande de l'obturateur fourni par le circuit de commande d'obturateur et le signal de sortie de la porte ET 100. Une bascule bistable (flip-flop) 103 est mise en oeuvre chaque fois qu'il y a un signal d'entrée, et que les sorties Q et \bar{Q} passent respectivement au niveau supérieur ou niveau "H" au niveau inférieur ou niveau "L". Si l'on suppose que la borne de sortie Q se trouve au niveau "H" et que la borne de sortie \bar{Q} est au niveau "L", à la sortie de la porte ET 102, le circuit d'excitation magnétique 104 crée une impulsion de +5 V pendant environ 50 ms, de largeur, en étant déclenché par le signal montant de la sortie Q du circuit 103 ; un circuit d'exci-

tation magnétique inverse 106 crée une impulsion -5 V d'une durée de l'ordre de 2,5 ms, en étant déclenché par le signal de montée à la sortie Q du circuit 103. Le circuit d'excitation magnétique 105 et le circuit d'excitation magnétique inverse 107, reliés à la borne de sortie \bar{Q} du flip-flop 103 ne créent pas de signal de sortie, car le signal qui varie à la borne de sortie \bar{Q} "baisse".

La sortie du circuit 104 constitue le signal d'entrée du circuit amplificateur 108 qui fournit comme signal de sortie une impulsion d'une tension égale à -15 V et d'une durée de 50 ms, après amplification de puissance.

La sortie du circuit 106 est appliquée comme signal d'entrée à un circuit d'amplification 109 qui fournit comme signal de sortie une impulsion d'une amplitude d'environ +15 V et d'une largeur ou durée de 2,5 ms, après amplification de puissance.

Si la porte ET, 102 fournit de nouveau un signal de sortie, ce signal de sortie du flip-flop 103 est inversé de façon que les bornes de sortie Q et \bar{Q} du circuit 103 passent respectivement au niveau "L" et au niveau "H". Dans ces conditions, les circuits 104 et 106 reliés à la borne de sortie Q ne créent pas d'impulsion de sortie alors que les circuits 105 et 107 reliés à la borne de sortie \bar{Q} créent une impulsion d'amplitude égale à +5 V, d'une durée ou largeur d'environ 50 ms et une impulsion égale à -5 V d'une durée de l'ordre de 2,5 ms de largeur en étant déclenchés par le signal montant. La sortie du circuit 105 est appliquée comme signal d'entrée au circuit d'amplification 109 qui crée le cas échéant une impulsion d'une amplitude de l'ordre de -15 V et d'une largeur ou durée de 50 ms. L'impulsion de sortie du circuit 107 est appliquée comme signal d'entrée au circuit 108 qui crée le cas échéant une impulsion de l'ordre de +15 V et d'une largeur de 2,5 ms. En d'autres termes, les circuits d'amplification 108 et 109 fournissent comme signal de sortie une impulsion de l'ordre de -15 V et d'une largeur de 50 ms ainsi qu'une impulsion d'une amplitude de l'ordre de +15 V et d'une largeur de 2,5 ms, pour les électro-aimants 110 et 111 chaque fois que le circuit 103 bascule. En conséquence, la pièce de fer 113 fixée à la plaque d'obturation 112 est tirée vers l'électro-aimant du côté du circuit 104 ou du circuit 105, chaque fois que le signal de sortie du circuit 103 bascule (ou est inversé). Après arrêt du d'excitation, la traction est maintenue par l'aimantation rémanente.

Lorsqu'un signal est en outre appliqué comme signal d'entrée au circuit 103, un courant impulsionnel traverse un électro-aimant du côté de la traction, pendant environ 2,5 ms, la direction du courant étant opposée à celle de la période d'attraction. Ainsi la pièce de fer doux 113 est repoussée instantanément par l'effet de l'aimantation rémanente de la pièce. Comme à ce moment, un courant électrique traverse l'autre électro-aimant pendant environ 50 ms, qui a été ainsi excité, la pièce de fer doux 113 est tirée fortement vers cet autre électro-aimant et ainsi la plaque formant obturateur 112 peut fonctionner chaque fois que des instructions d'obturateur sont envoyées, par synchronisation avec l'obturateur à disque 9. Ce comportement correspond aux courbes (c) et (d) de la figure 9. Comme indiqué ci-dessus, la plaque d'obturation 112 travaille avec un cycle plus court que le double de la période de fonctionnement de l'obturateur 9 et pour une durée plus longue que le temps d'ouverture de l'obturateur 9. C'est pourquoi, le temps d'exposition du tube de prises d'image 8 peut se déterminer par la plaque d'obturation 112 et le temps d'exposition peut être déterminé par le temps d'ouverture de l'obturateur 9. Le comportement du temps d'exposition et le temps d'exposition du tube de prises de vue 8 est représenté par la courbe (e) de la figure 9. Si l'on utilise l'obturateur représenté à l'exemple ci-dessus, le disque rotatif formant obturateur et la plaque d'obturation d'intervalle sont complémentaires, ce qui permet de travailler à une vitesse d'obturation élevée, quel que soit l'instant, ce qui résout le problème indiqué ci-dessus de l'affaiblissement de l'image par le déplacement.

Dans l'exemple ci-dessus, l'obturateur électromagnétique comporte deux électro-aimants comme obturateurs d'intervalle mais on peut également utiliser n'importe quel autre obturateur tel qu'un obturateur à moteur impulsionnel etc. En variante, il peut s'agir d'un obturateur mécanique du type ci-dessus, qui peut être un obturateur électronique tel que l'obturateur du type à commande à image de transfert connu.

Pour la correction de la fluctuation de sortie de la surface d'image du tube de prises d'image d'une caméra de télévision, on a en général une fluctuation de la tension de sortie appelée "assombrissement" ou "erreur d'impact du faisceau" dans le tube de prises d'image de la caméra de télévision. Cett

fluctuation de la tension de sortie du tube de prise de vues n'entraîne pas de problème particulier en pratique dans un appareil de télévision classique, utilisé seulement pour l'examen optique d'un signal vidéo d'une caméra de télévision. Cependant, le cas échéant, dans la mise en oeuvre pratique de l'invention, on utilise une caméra de télévision comme moyen de détection de l'énergie de rayonnement émise par un matériau, et que l'on veut mesurer, et pour détecter ainsi une crique ou fissure de surface du matériau par traitement du signal de sortie de la caméra de télévision dans un circuit permettant de déceler les défauts, cette fluctuation de la tension de sortie du tube de prises de vue entraîne des conséquences importantes sur la détection de la crique. Si l'on suppose que le matériau présente une crique de surface et que cette crique est photographiée par un tube de prise d'images ayant une caractéristique de sortie, usuelle, le signal de sortie d'une ligne de balayage présente un modèle d'onde correspondant à la figure 11(a). Si dans ce cas, il y a des modèles d'onde de signaux 16 et 17 correspondant à des criques, il y a un certain risque que de tels signaux de crique 16 et 17 ne puissent être détectés avec une précision satisfaisante si le signal de sortie est traité par un circuit usuel de reconnaissance de défaut, avec déclenchement sous un niveau de temps prédéterminé. Pour éviter de tels inconvénients, il est nécessaire que la sortie du tube de prise de vues lorsqu'il n'y a pas de rayons incidents, soit constante et que la fluctuation du signal de sortie de la surface normale correspondant au changement d'intensité d'éclairage d'un matériau soit réglée au minimum. Si l'on tente de réaliser cette condition par une caractéristique uniforme du tube de prise de vues il est nécessaire d'améliorer ou de développer le tube de prises de vue lui-même, et de régler le degré de dépôt par évaporation à vide sur la photocathode ou d'unifier un passage d'un faisceau d'électrons à la photocathode. Cependant, il est impossible actuellement de réaliser un tel perfectionnement ou développement du tube de prises de vue lui-même.

Ainsi, une condition préalable à l'invention est de créer un circuit de commande d'ombre pour corriger la fluctuation de la tension de sortie du tube de prise de vues de la caméra de télévision. Ce circuit de commande peut être placé entre la borne de sortie de la caméra de télévision et l'entrée du circuit servant à reconnaître les défauts ; ce moyen comporte (a) le premier

détecteur d'enveloppe pour détecter l'enveloppe du signal de sortie d'un champ de la sortie de la caméra de télévision, (b) le premier circuit de l'amplificateur différentiel pour fournir comme signal de sortie un signal de l'amplificateur différentiel entre le signal de sortie du premier détecteur d'enveloppe et le signal de sortie du champ ci-dessus, (c) le premier amplificateur variable pour amplifier le signal de sortie du premier circuit de l'amplificateur différentiel répondant à la tension du signal de sortie du premier détecteur d'enveloppe, (d) le second détecteur d'enveloppe pour détecter l'enveloppe de la courbe du signal de sortie d'une ligne de balayage de la caméra de télévision à partir du signal de sortie du premier amplificateur variable, (e) le second circuit de l'amplificateur différentiel pour fournir un signal de sortie de l'amplificateur différentiel entre le signal de sortie du second détecteur d'enveloppe et du signal de sortie d'une ligne de balayage, (f) le second amplificateur variable pour amplifier le signal de sortie du second circuit de l'amplificateur différentiel répondant à la tension du signal de sortie du second circuit d'amplification différentiel ainsi qu'à la tension du signal de sortie du second détecteur d'enveloppe.

La correction de l'ombre est en outre décrite de façon détaillée ci-après en relation aux figures 10 et 11.

Les figures 10(a) et 10(b) représentent 262,5 lignes de balayage d'un signal vidéo d'un tube de prise de vues. Dans ce cas, l'axe des abscisses ou l'axe du temps est comprimé de façon qu'une ligne de balayage représentée aux figures 11(a) et 11(b) corresponde à une seule ligne. La figure 10(a) correspond à une courbe de signal avant correction de l'assombrissement. L'enveloppe de la courbe du signal de la figure 10(a) montre la fluctuation de sortie dans la direction verticale du tube de prise de vues.

Le résultat de la correction de cette fluctuation de sortie dans la direction verticale est représenté à la figure 10(b) dans laquelle l'enveloppe est horizontale. A la figure 11(a) et à la figure 11(b), on a la forme du signal correspondant à une ligne de balayage horizontale, à partir des figures 10(a) et 10(b), avec allongement par rapport à l'axe du temps (ou axe des abscisses). La figure 11(a) montre la forme du signal avant correction de l'ombre ; cette figure montre que même si on photographie le matériau à la même température, l'enveloppe du signal n'est pas horizontale, mais courbe, ce qui indique la fluctuation

de sortie dans la direction horizontale du tube de prise de vues .
Le résultat de la correction est représenté à la figure 11(b).

Selon les figures 11, les références 16, 17, 16' et 17' correspondent aux courbes de signaux pour des criques ; les références 16', 17' correspondent aux courbes des signaux de crique après correction ; ces signaux sont dirigés vers le haut à partir du niveau du signal normal comme le montre la figure 11(b) car ces signaux sont des signaux différentiels par rapport à l'enveloppe.

La figure 12 est un schéma-bloc d'un exemple de circuit de commande de l'invention, qui compense l'ombre d'une caméra de télévision ainsi que la différence de température entre les parties normales du matériau examiné. Cette figure montre la structure d'un circuit de commande de forme de courbe 300 servant à régler la fluctuation du niveau normal et la caractéristique linéaire du signal vidéo créé par balayage de la caméra de télévision 200.

Une partie du signal vidéo obtenu par balayage, et qui a été amplifié par l'amplificateur 205 de la caméra de télévision 200 est appliquée comme signal d'entrée au premier circuit tampon 301 du circuit de commande de la forme d'onde 300 ; le signal est alors appliqué au premier détecteur d'enveloppe 302 après réglage du niveau de tension de sortie. Le premier détecteur d'enveloppe 302 détecte un signal d'affichage de l'enveloppe du signal de sortie d'un champ ; ce signal est alors appliqué comme signal d'entrée au premier circuit d'un amplificateur différentiel 303.

Une partie du signal vidéo obtenu par balayage à partir de l'amplificateur 205 de la caméra de télévision 200 est également appliquée comme signal d'entrée au circuit 303. Dans ce premier circuit de l'amplificateur différentiel 303, on corrige la fluctuation de sortie résultant de l'ombre entre les champs ; le signal de sortie obtenu est appliqué comme signal d'entrée au premier amplificateur variable 304. Le coefficient d'amplification du premier amplificateur variable 304 est commandé par la tension de sortie du premier détecteur d'enveloppe 302. Le signal de sortie du premier amplificateur variable 304 est appliqué comme signal d'entrée au second circuit tampon 305, puis le signal arrive comme signal d'entrée au second détecteur d'enveloppe 306 après réglage de son niveau de temps de sortie. Dans le second détecteur d'enveloppe 306, on détecte un signal correspondant à l'enveloppe du signal de sortie, d'une ligne de balayage ; ce signal de l'enveloppe d'affichage est appliqué comme signal d'entrée au circuit de l'amplificateur

différentiel 207. Par ailleurs, une partie du signal de sortie du premier amplificateur variable 304 est également appliquée comme signal d'entrée au second amplificateur différentiel 307. Ce circuit 307 corrige la fluctuation de sortie résultant de l'ombre, d'une ligne de balayage ; le signal obtenu est appliqué au second amplificateur variable 308. Le coefficient d'amplification de ce circuit 308 est commandé par la tension de sortie du second détecteur d'enveloppe 306. Par ce traitement du signal, on obtient une forme de signal correspondant à la figure 10(b) ; le signal de sortie d'une ligne de balayage correspond à la figure 11(b) ; le signal de sortie corrigé comprenant les signaux de crique 16', 17', correspondant aux signaux 16 et 17 du signal s'obtient à la sortie (figure 11(a)). En d'autres termes dans la courbe correspondant à la fluctuation de sortie représentée à la figure 11(a), il est difficile de détecter le signal de crique 16, 17 avec une bonne précision ; par contre dans la forme des signaux 16', 17' obtenus par la correction indiquée ci-dessus de la courbe, il est possible de détecter le signal de crique 16', 17', et cela avec une bonne précision à l'aide d'un circuit usuel pour reconnaître les défauts.

Il est ainsi possible de remédier aux problèmes résultant de la fluctuation de la tension de sortie du tube de prises de vue dans l'appareil de détection de criques de surface utilisant une caméra de télévision pour détecter l'énergie de rayonnement émise par un matériau que l'on examine, si l'absence d'uniformité du signal de sortie résultant de l'ombre ou de l'erreur d'impact du faisceau incident au tube de prise de vues est corrigée par un circuit de commande d'ombre décrit ci-dessus.

Comme indique, si l'on équipe une caméra de télévision d'un obturateur avant d'utiliser le tube de prises de vue pour détecter l'énergie de rayonnement émise par un matériau chaud, tel qu'un métal chaud, en équipant également l'appareil de détection de criques de surface d'un circuit de commande d'ombre entre la sortie de la caméra de télévision et l'entrée du circuit servant à reconnaître les défauts, on peut détecter avec une précision satisfaisante une crique existant à la surface d'un matériau chaud ou d'un métal chaud tel que de l'acier à haute température.

La description ci-dessus concerne un appareil de détection de criques de surface d'un matériau chaud ou d'un métal chaud par détection de l'énergie de rayonnement, c'est-à-dire l'énergie

de rayonnement propre émise par le matériau. Cependant dans certains cas, suivant le type particulier de criques existant dans le matériau, on arrive à une plus grande précision de détection de la crique en détectant l'énergie réfléchie provenant d'un rayon incident extérieur et non l'énergie de rayonnement du matériau. Par exemple dans le cas d'une crique, on peut arriver à un rapport plus élevé entre le signal et le bruit (S/N), en détectant l'énergie réfléchie provenant d'un rayon incident d'origine externe. Cependant, même dans ce cas, il faut que le rayon incident, d'origine externe soit un éclair lumineux stroboscopique. Dans ces conditions, il faut que le fonctionnement de l'éclair stroboscopique et de l'obturateur soit synchronisé et que l'état de rayonnement de l'éclair stroboscopique corresponde à des conditions optimales pour la réflexion lumineuse de la crique de surface du matériau.

Cette condition de rayonnement de l'éclair stroboscopique dans l'appareil de l'invention consiste à prévoir une paire de stroboscopes fournissant des éclairs suivant des angles incidents essentiellement symétriques l'un par rapport à l'autre et par rapport à une normale à la surface du matériau à examiner. Dans ce cas, l'angle incident θ doit de préférence satisfaire à la relation suivante :

$$2\alpha_{\max} < \theta < 2\delta_{\min}$$

dans cette relation :

θ = angle incident de l'éclair stroboscopique par rapport à la normale à la surface du matériau à examiner (figure 17).

α_{\max} = angle d'inclinaison maximale de la pièce éclairée ou de la cavité de la partie normale de matière à examiner (figure 16).

δ_{\min} = valeur minimale des défauts à détecter pour l'angle d'inclinaison maximum de la partie éclairée ou en retrait d'une seule pièce défectueuse du matériau à mesurer (figure 16).

L'état d'incidence décrit ci-dessus pour l'éclair stroboscopique est décrit en détail ci-après à l'aide des dessins. Les criques de surface caractéristiques d'un métal chaud sont représentées aux figures 13 à 15. Les références numériques 21, 22, 23 de la figure 13(a) représentent les criques appelées "criques

en aiguille" qui apparaissent sous forme de criques fines telles que les criques 21, 22, 23 de la figure 13(b) ; cette figure 13(b) est une coupe suivant la ligne A-A de la figure 13(a). La référence numérique 24 de la figure 14(a) représente une crique de scorie et la référence 25 est une crique telle qu'une fissure dont la vue en coupe selon B-B de la figure 14(a) est représentée par les références 24 et 24 à la figure 14(b).

Les criques ci-dessus représentées par les références numériques 21 à 25 apparaissent sous la forme de traits relativement fins par rapport à la partie exposée à la surface et dont la profondeur est plus grande que la largeur de l'ouverture. La crique 26 de la figure 15(a) est celle provenant d'un laminage avec un organe réfractaire ou sur lequel restent des scories, ce qui se traduit par l'insertion à faible profondeur d'un matériau absorbant à la lumière, comme représenté à la figure 15(b) qui est une coupe selon C-C de la figure 15(a). Par ailleurs, la surface de la partie normale du matériau à examiner n'est pas parfaitement plane ou lisse, mais quelque peu rugueuse. Cette rugosité dérange l'orientation de la réflexion du rayon incident et modifie la quantité de lumière incidente reçue par le circuit (caméra de télévision) et crée le même signal que le signal de crique, engendrant une composante de bruit.

La figure 16 est une vue en coupe à échelle agrandie montrant la rugosité de la partie normale et la rugosité de la partie défectueuse d'un matériau 27 à examiner. La rugosité 28 de la partie normale est relativement peu profonde comparée à la largeur de l'ouverture et l'angle maximum α_{\max} fait par la surface normale moyenne 29 et la surface la plus inclinée, est un angle relativement faible. Au contraire de cela, l'angle δ entre la surface normale moyenne 29 et la surface la plus inclinée pour la partie défectueuse 30 ayant une fissure, peut aller jusqu'à environ 90°. L'angle incident θ de l'éclair de lumière stroboscopique est défini comme étant un angle entre la normale N (perpendiculaire) à la surface normale moyenne du matériau 27 et l'axe M du rayon incident émis par la source 901 lorsque l'axe M est dirigé vers le centre S du champ optique du circuit de réception lumineuse (caméra de télévision) 200 qui se trouve au-dessus du champ optique.

Les valeurs des paramètres α_{\max} et θ_{\min} résultent comme indiqué ci-dessus d'essais réels.

A titre d'exemple d'un état de surface que l'on peut considérer comme partie normale mais qui présente une rugosité relativement importante, la figure 19 montre un tel état de surface d'un acier que l'on a écorcé à chaud. Comme le montre la figure 19, il y a des traces groupées 32, 33 à la surface de l'acier 31. Les figures 19(b) et 19(c) sont des vues à échelle agrandie de la figure 19(a). L'angle θ_{\max} des traces est de l'ordre de 10° . L'angle θ_{\min} de la partie défectueuse représentée par les criques 21 ... 25 des figures 13 et 14 est généralement compris entre 80 et 90° . La crique de briques ou crique profonde etc représentée à la figure 15 constitue une crique absorbant la lumière si bien que la partie défectueuse ne présente qu'une faible quantité de lumière réfléchie quelle que soit la lumière incidente et présente un signal de crique net, de sorte qu'il n'y a pas de problème quant à l'angle de la surface inclinée.

Le résultat de la mesure réelle du comportement de la réflexion lumineuse est représenté à la figure 18. Dans cette figure, l'angle incident θ de l'éclair stroboscopique représenté à la figure 17 est indiqué par l'angle à la périphérie d'un demi-cercle; l'intensité de la lumière réfléchie dans cette direction est indiquée sous forme d'intensité relative par rapport à l'état $\theta = 0^\circ$.

La mesure de l'angle $\theta = 0^\circ$ se fait à l'aide d'un miroir semi-transparent.

L'intensité de la lumière réfléchie obtenue dans le cas d'un éclair lumineux stroboscopique incident dirigé seulement dans une direction telle que celle de la figure 17, est équivalente à celle obtenue dans le cas d'une lumière incidente suivant un angle de l'ordre de $\theta \pm 2^\circ$, et en recevant cette lumière dans la direction verticale car la partie normale n'est pas parfaitement lisse comme décrit ci-dessus; ainsi, la direction de la lumière réfléchie oscille partiellement. Ainsi, la fluctuation du degré de conversion photo-électrique du moyen de réception lumineuse (caméra de télévision), augmente considérablement même dans la partie normale qui joue alors le rôle de partie à bruit fluctuant.

Comme le signal d'une crique est essentiellement constant pour la même crique dans les conditions ci-dessus, le rapport S/N devient faible sauf si la partie de fluctuation de bruit est diminuée autant que possible. Dans le cas d'un rayonne-

ment incident suivant un angle θ dans une direction comme représenté à la figure 17, l'intensité de la quantité de lumière réfléchie $\mathcal{P}(\theta)$ varie entre $\mathcal{P}(\theta + 2\alpha)$ jusqu'à $\mathcal{P}(\theta - 2\alpha)$ si l'inclinaison de la rugosité de la surface normale est comprise entre $\pm \alpha$. Cette relation correspond à une variation importante comme le montre la figure 18 qui est une courbe de réflexion.

Selon l'invention si l'éclair stroboscopique tombe dans des directions respectivement symétriques par rapport à une ligne normale à la surface du matériau examiné, c'est-à-dire dans les deux directions des angles incidents θ et $-\theta$, l'intensité de la lumière réfléchie de la partie normale devient égale à $\mathcal{P}(\theta + 2\alpha) + \mathcal{P}(\theta - 2\alpha)$ étant donné la symétrie de la réflexion.

Dans la plage des faibles valeurs α , il y a un décalage notable et c'est pourquoi, on a toujours la formule suivante :

$$\mathcal{P}(\theta + 2\alpha) + \mathcal{P}(\theta - 2\alpha) \approx 2\mathcal{P}(\theta)$$

Comme pour la lumière réfléchie provenant d'une partie défectueuse, l'angle δ correspondant à la surface la plus inclinée de la partie défectueuse est toujours pratiquement voisin de 90° . C'est pourquoi même si le rayonnement stroboscopique se fait dans deux directions, l'intensité de la lumière réfléchie dans la direction du moyen de réception lumineuse est essentiellement la même que dans le cas d'un rayonnement incident seulement dans une direction, de sorte que la différence entre les deux est négligeable. Ainsi, la quantité de lumière réfléchie provenant de la partie défectueuse ne change pas et la fluctuation de la partie normale ou bruit, devient faible, ce qui se traduit par une augmentation notable du rapport signal/bruit (S/N).

Si la rugosité de la partie normale est très faible et est distribuée pratiquement uniformément à la surface du matériau examiné, et si chaque saillie ou cavité de cette rugosité est suffisamment faible par rapport au pouvoir de résolution du moyen de détection de crigue, on peut considérer la surface du matériau comme étant lisse, si bien que l'on ne rencontre aucune difficulté en pratique, pour l'éclair stroboscopique émis seulement dans une direction. A titre de remarque, la rugosité de la partie normale qui serait particulièrement intéressante pour un rayonnement appliqué dans deux directions est telle que la largeur de la rugosité soit de l'ordre de 0,3 mm ou plus et sa longueur de l'ordre de 1 mm ou plus.

La raison pour laquelle l'angle incident θ de l'éclair stroboscopique doit de préférence satisfaire à la relation $2\alpha_{\max} < \theta < 2\delta_{\min}$, est donnée ci-après.

La raison fondamentale est qu'il est nécessaire de définir la relation du moyen de réception de la lumière incidente de façon à ne pas englober la réflexion régulière car la direction de la réflexion régulière correspond à la conduite suivant laquelle la quantité de lumière réfléchie devient particulièrement grande à cause de la courbure maximale et de l'intensité maximale de la lumière réfléchie comme représenté à la figure 18, de sorte que l'on ne peut satisfaire à la formule suivante :

$$\varphi(\theta + \Delta\alpha) + \varphi(\theta - \Delta\alpha) \approx 2 \varphi(\theta)$$

La relation optimale est ainsi $2\alpha_{\max} < \theta < 2\delta_{\min}$.

La limite pratique consiste à utiliser la plage pour laquelle la courbure de la courbe de la figure 18 n'est pas très grande, si bien qu'il n'est pas souhaitable d'arriver à l'approximation $2\alpha_{\max} \approx \theta$. De plus, la mesure ne peut se faire pour $\theta \geq 90^\circ$.

C'est pourquoi, la mesure est faite dans les conditions : $2\alpha_{\max} < \theta < 90^\circ$.

si δ_{\min} est de l'ordre de 80° comme indiqué ci-dessus.

La figure 17 donne un exemple dans lequel le moyen de réception lumineuse (caméra de télévision) 200 est réglé pour effectuer un examen vertical, par-dessus, de façon que la ligne reliant le centre de l'axe du rayon du moyen 200 et le point central S du champ optique soit alignée avec la normale N à la surface du matériau 27. Cependant dans cette mise en oeuvre pratique de l'invention, l'angle d'examen du moyen de réception lumineuse ne doit pas toujours être vertical si le niveau de bruit est relativement faible, alors que le rapport S/N est grand, de sorte que l'on ne peut en pratique augmenter la précision de la détection. Par exemple à la figure 17, il est possible en pratique d'avoir un angle d'examen pour le moyen de réception lumineuse 200, faisant quelques degrés par exemple environ 20° par rapport à la normale M, dans un plan perpendiculaire à la surface de la feuille de la figure passant par la normale M.

De la même manière, il est également possible que la direction du rayonnement incident émis par la source 901 fasse un

certain angle par rapport au plan qui est perpendiculaire à la surface du papier de la figure, et qui passe par la ligne moyenne M du faisceau incident selon la figure 17.

5 On décrira ci-après la détection d'une crique de surface dans le cas d'acier à haute température, à la sortie d'un laminoir ébaucheur, à l'aide d'un appareil selon l'invention.

La figure 20 est destinée à expliquer le procédé de détection d'une crique de surface d'un acier chaud, ayant subi un ébauchage.

10 Les buses 42, 42' d'enlèvement de scories et qui suivent le laminoir d'ébauchage 41, soufflent un jet d'eau à une pression d'au moins 60 kg/cm^2 à la sortie de la buse, sur la surface supérieure et à la surface inférieure de la pièce d'acier, pendant la passe de retour, avant la passe de finition ou immédiatement
15 après la passe de finition, les scories à la surface du matériau créant un signal d'obstacle pour le signal de crique. La pièce d'acier 43 ainsi laminée, passe devant les caméras de télévision 45, 45' en étant transportée par une table à rouleau 44. En avant des caméras de télévision 45, 45', les buses de projection d'eau
20 ou les buses d'air 46, 46' fournissant une pression d'air de l'ordre de 20 kg/cm^2 à la sortie de la buse, soufflent les scories et les gouttelettes d'eau qui restent à la surface du matériau et qui créent le signal d'obstacle ; ces moyens servent également à refroidir la couche de surface de la pièce d'acier. La couche
25 de surface de la pièce d'acier ainsi refroidie peut immédiatement recevoir à sa température sous l'effet de la chaleur transmise à partir du coeur du matériau. Etant donné la différence de temps nécessaire à la récupération thermique entre la partie normale ne présentant pas de crique et la partie défectueuse ayant quelques
30 criques, la différence de la température à la surface du matériau entre la partie normale et la partie défectueuse, est ainsi augmentée. La différence de l'énergie de rayonnement engendrée par ces différences de température de la surface du matériau est alors détectée par les caméras de télévision 45, 45'. Les caméras
35 de télévision 45, 45' comportent le moyen d'obturation décrit ci-dessus (non représenté à cette figure) et permettent ainsi de limiter le rayonnement énergétique important émis par la pièce d'acier à haute température, pour limiter cette énergie rayonnée à une valeur convenable, pour pouvoir obtenir l'image résiduelle
40 de la surface à examiner.

A la figure 20, on n'a pas représenté les dispositifs placés en aval des caméras de télévision 45, 45'. Il est cependant à remarquer que le circuit de correction d'ombre est relié à la borne de sortie des caméras de télévision ; le signal de sortie fourni par les caméras de télévision constitue le signal d'entrée du circuit servant à reconnaître les défauts, après correction des fluctuations de sortie du tube de prise d'images des caméras de télévision. Dans le circuit servant à reconnaître les défauts, le signal de crique est extrait à un niveau prédéterminé. La suite du traitement du signal se fait de façon que par exemple ce signal de crique soit transformé en un signal numérique et la porte ET reçoit les impulsions d'horloge assurant la combinaison pour créer des impulsions de signaux de crique qui peuvent être intégrées dans la longueur totale de la ligne de balayage d'un champ constituant une trame pour une caméra de télévision, en vue du comptage ; le rapport entre la surface défectueuse et le champ se calcule en utilisant ce comptage. L'information de crique ainsi obtenue et correspondant à la pièce d'acier à haute température après ébauchage, sert à régler la profondeur de l'écorçage au cours de la phase suivante correspondant à l'écorçage à chaud, et qui est effectuée pour enlever les criques de la pièce d'acier à haute température. De plus, il est également possible d'effectuer un écorçage partiel du matériau au cours de la phase d'écorçage à chaud, en déterminant la position d'apparition des criques et en utilisant cette information.

De cette façon, l'appareil selon l'invention permet de détecter une crique à la surface de la pièce d'acier après ébauchage et de réaliser une commande adéquate de la profondeur de la surface d'écorçage au cours de la phase d'écorçage à chaud. C'est pourquoi, selon les moyens connus, on aboutissait à une perte de rendement provenant de l'écorçage d'une partie de la matière dans laquelle on ne peut éviter efficacement les criques. De plus, il n'est pas nécessaire de procéder de façon classique et de refroidir le matériau puis de détecter une crique et d'enlever cette crique à l'état froid ; il en résulte l'avantage de pouvoir traiter le matériau tel que l'acier à haute température, sans être obligé de le refroidir, pour le faire passer à la phase suivante ou dans un four de réchauffage d'un train de laminoirs, ce qui permet d'utiliser complètement et de façon

efficace l'énergie thermique disponible.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation ci-dessus décrits et représentés, à partir desquels on pourra prévoir d'autres modes et d'autres formes de réalisation, sans pour cela sortir du cadre de l'invention.

RE V E N D I C A T I O N S

1°) Appareil pour détecter une crique de surface d'un matériau à examiner, appareil dans lequel l'énergie de rayonnement émise par la surface de la matière à haute température et/ou l'énergie réfléchie correspondant à un éclair stroboscopique tombant sur la surface du matériau est détectée à l'aide d'un détecteur photo-électrique de façon à détecter les criques de surface du matériau, appareil caractérisé en ce qu'il comprend :

- une caméra de télévision pour détecter l'énergie de rayonnement et/ou l'énergie de réflexion de la surface du matériau,
- un obturateur en avant du tube de détection d'image de la caméra de télévision pour obtenir l'image résiduelle d'un matériau en mouvement, à l'aide de la caméra de télévision,
- un circuit de commande d'ombre entre la borne de sortie de la caméra de télévision et la borne d'entrée d'un circuit de reconnaissance des défauts pour corriger la fluctuation de sortie dans un plan de détection d'image du tube de prises d'image de la caméra de télévision.

2°) Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'obturateur se compose d'un disque rotatif assurant l'obturation, en synchronisme avec la période d'effacement de la caméra de télévision et un autre moyen d'obturation ayant une durée d'obturation plus courte que le double de la période de l'obturation du disque rotatif, cette durée étant plus longue que la durée d'ouverture du disque rotatif, et l'effet d'obturation se faisant uniquement à l'instant de déclenchement de synchronisation par l'obturateur rotatif, les obturateurs étant commandés par un circuit de commande.

3°) Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit de commande qui compense l'assombrissement de la caméra de télévision ainsi que la différence de température entre les parties normales de la matière examinée se compose d'un premier détecteur d'enveloppe pour détecter l'enveloppe du signal de sortie d'un champ du signal de sortie de la caméra de télévision, un premier amplificateur différentiel fournissant le signal de sortie, différentiel amplifié entre le signal de sortie du premier détecteur d'enveloppe et le signal de sortie d'un champ, le premier amplificateur variable servant à amplifier le signal de sortie du premier amplificateur différentiel étant commandé par la tension du signal de sortie du premier détecteur

enveloppe, le second détecteur enveloppe servant à détecter l'enveloppe du signal de sortie d'une ligne de balayage de la caméra de télévision provenant du signal de sortie du premier amplificateur variable, le second amplificateur différentiel fournissant comme signal de sortie un signal amplifié différentiel entre le signal de sortie du second détecteur enveloppe et le signal de sortie d'une ligne de balayage, ainsi qu'un second amplificateur variable amplifiant le signal de sortie du second amplificateur différentiel et sensible à la tension du signal de sortie du second détecteur d'enveloppe.

4°) Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 et 3, caractérisé par deux stroboscopes émettant des éclairs lumineux stroboscopiques à la surface du matériau suivant des angles essentiellement symétriques l'un par rapport à l'autre et par rapport à la normale à la surface du matériau, les éclairs stroboscopiques étant synchrones avec l'effet d'obturation de l'obturateur.

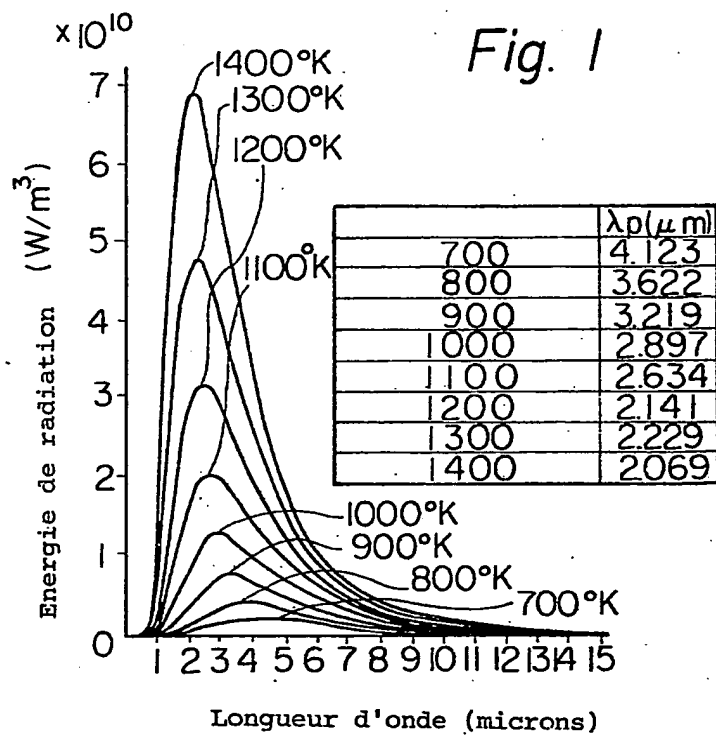
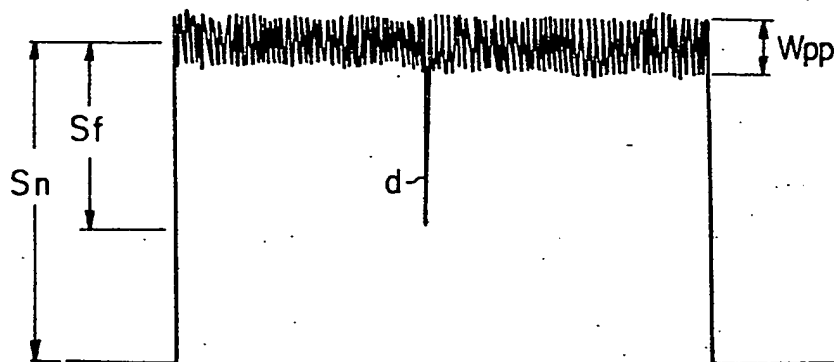
*Fig. 4*

Fig. 2

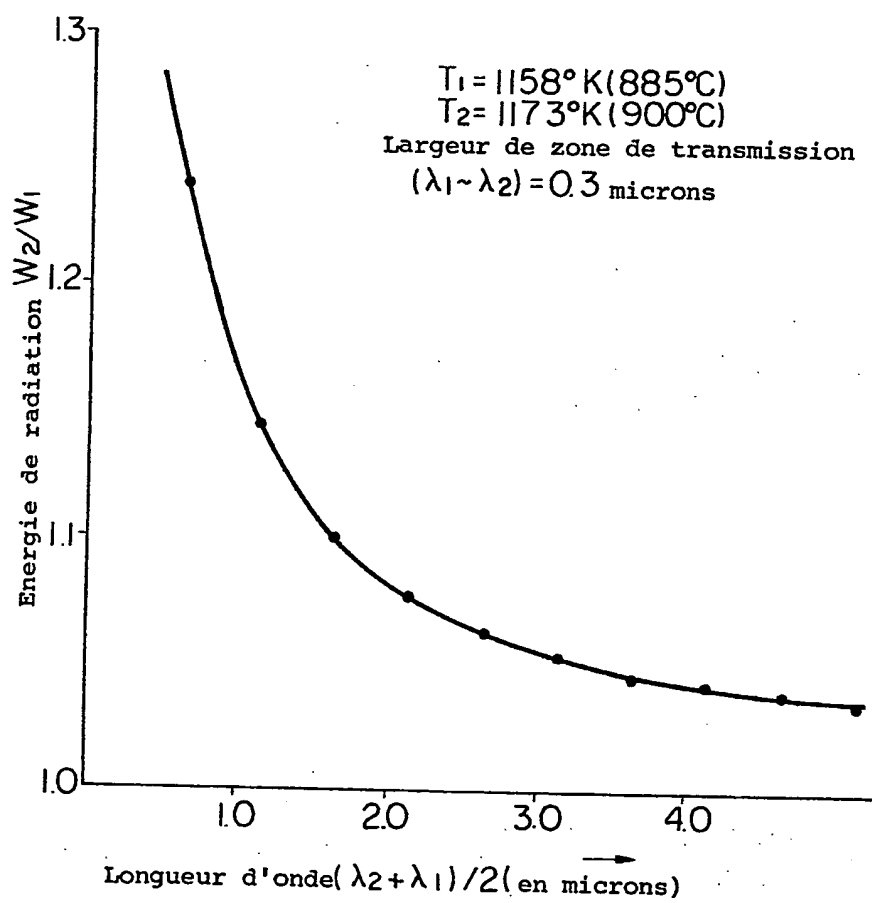


Fig. 3

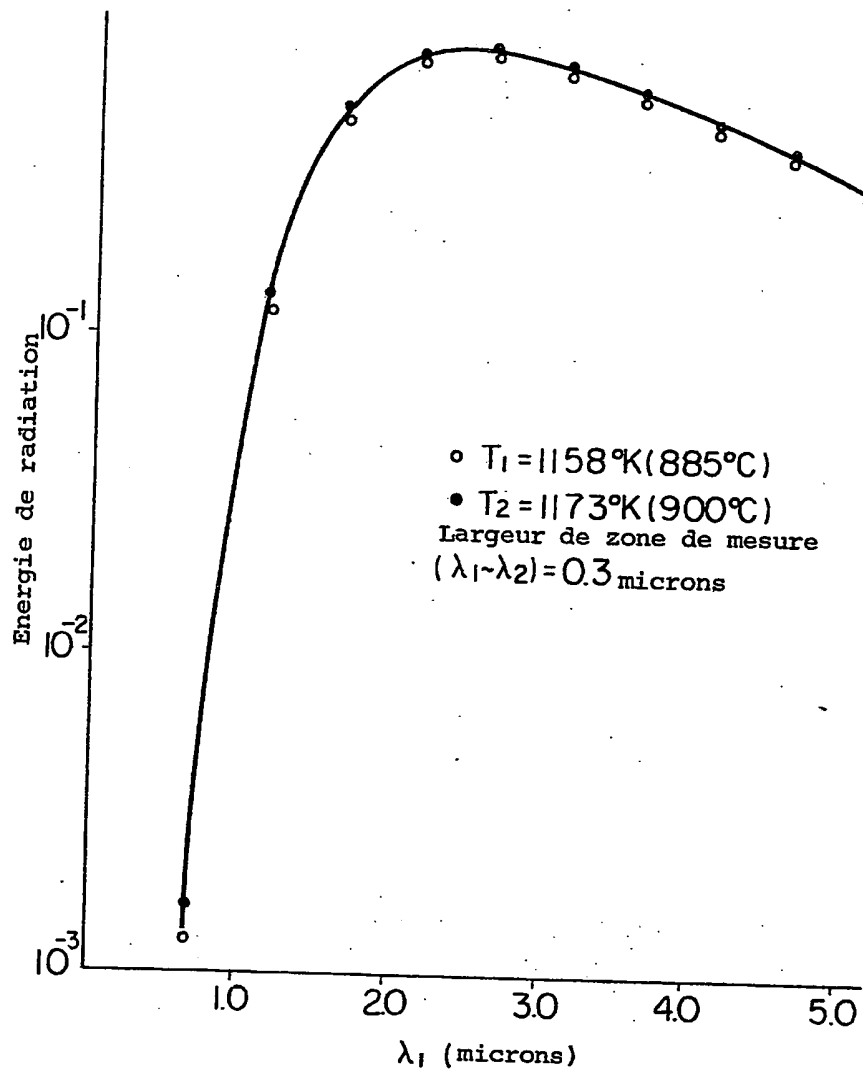


Fig. 5

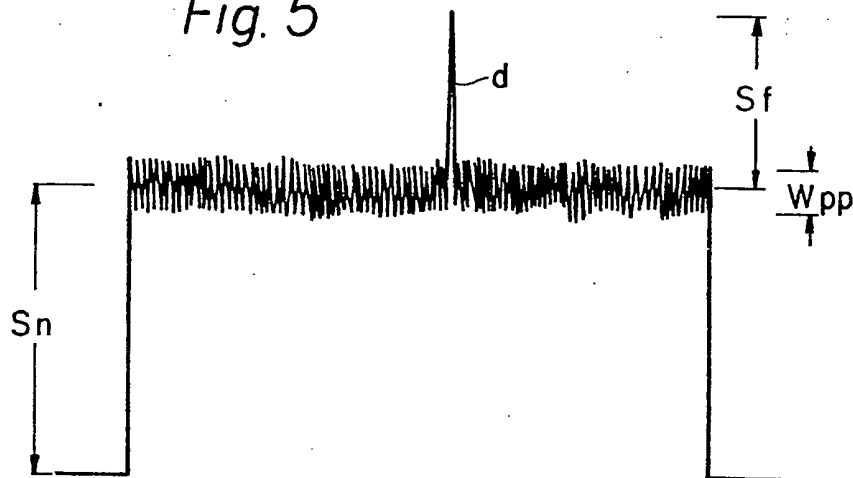


Fig. 6

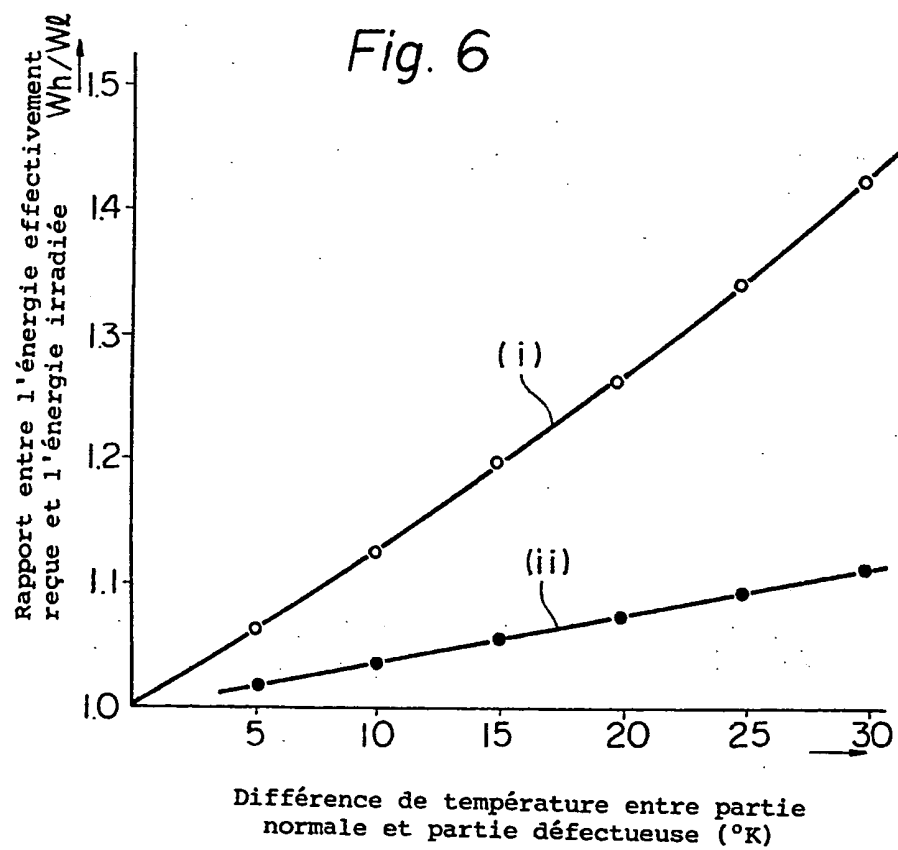


Fig. 8

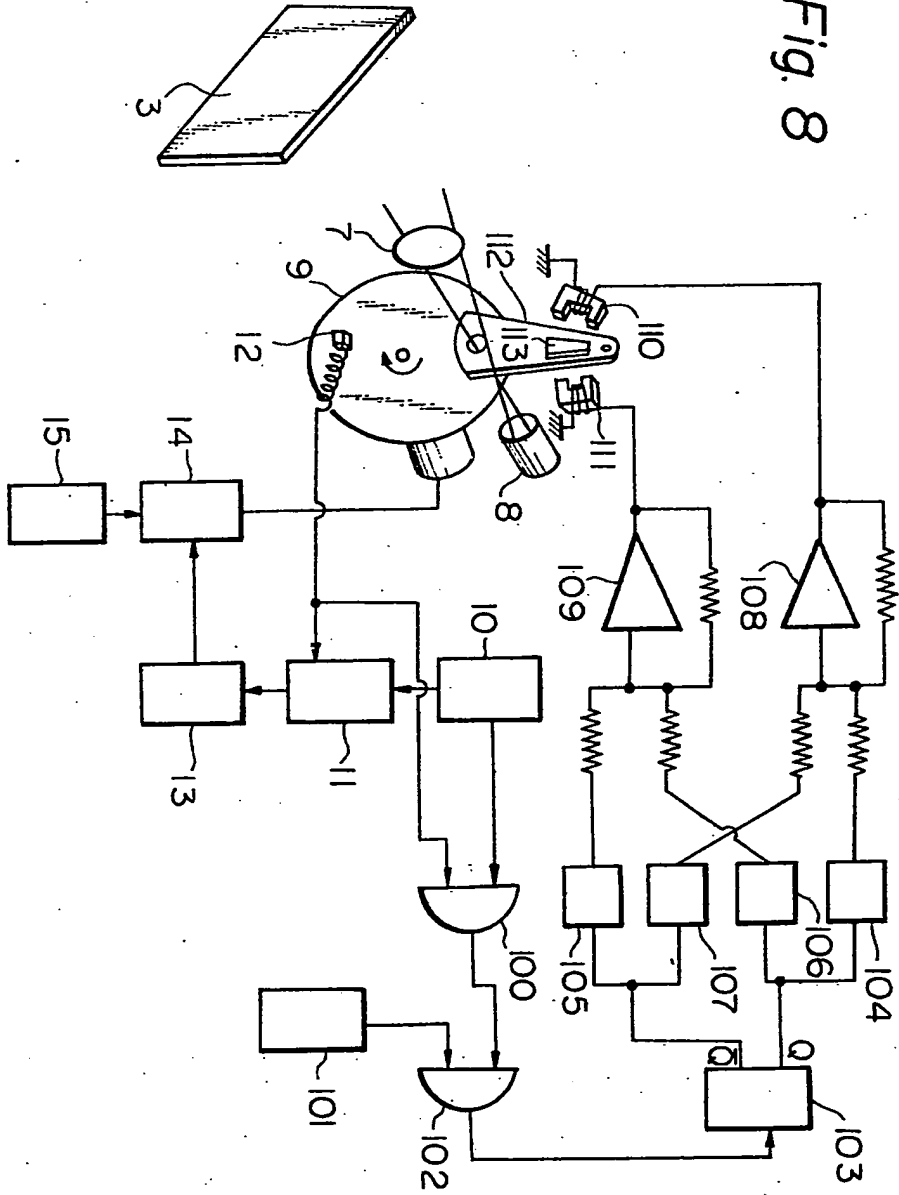


Fig. 9

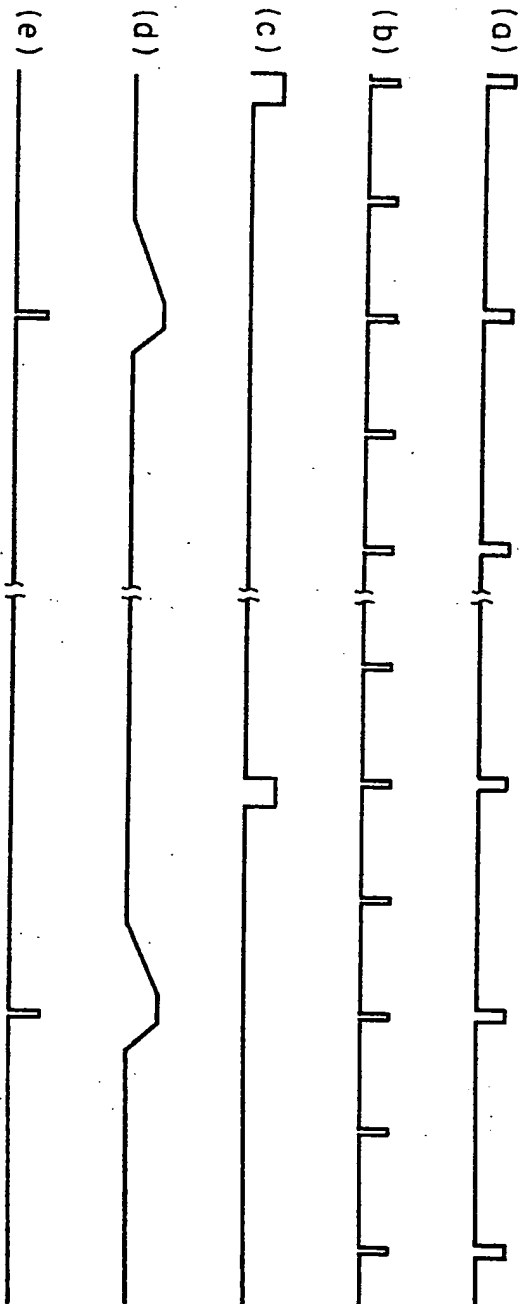


Fig. 7
(a)

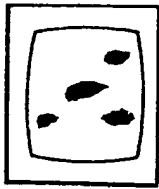
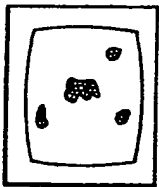


Fig. 7
(b)



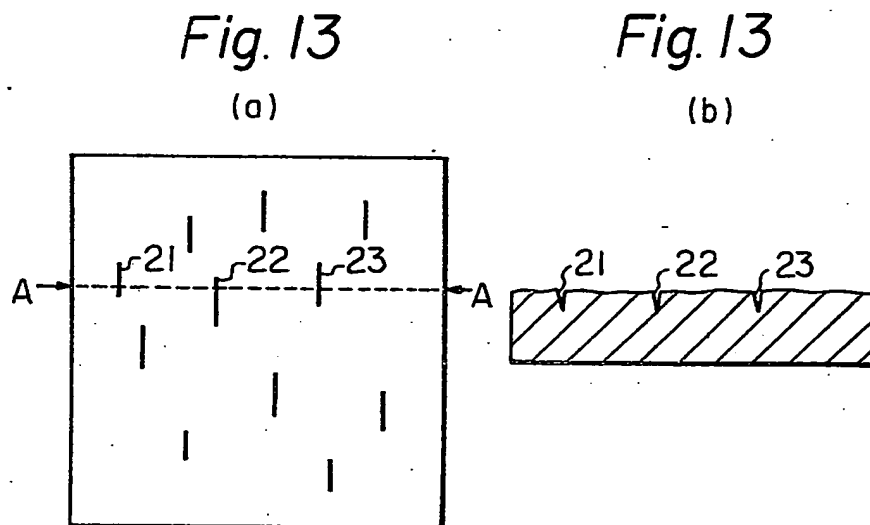
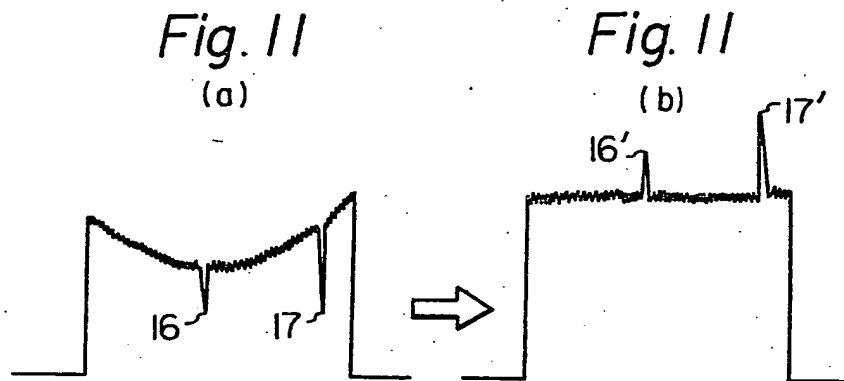
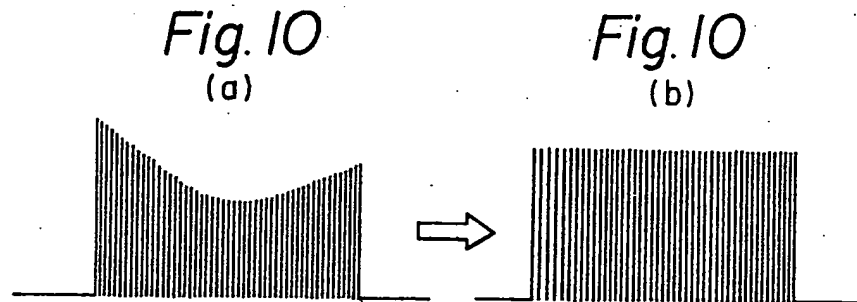


Fig. 12

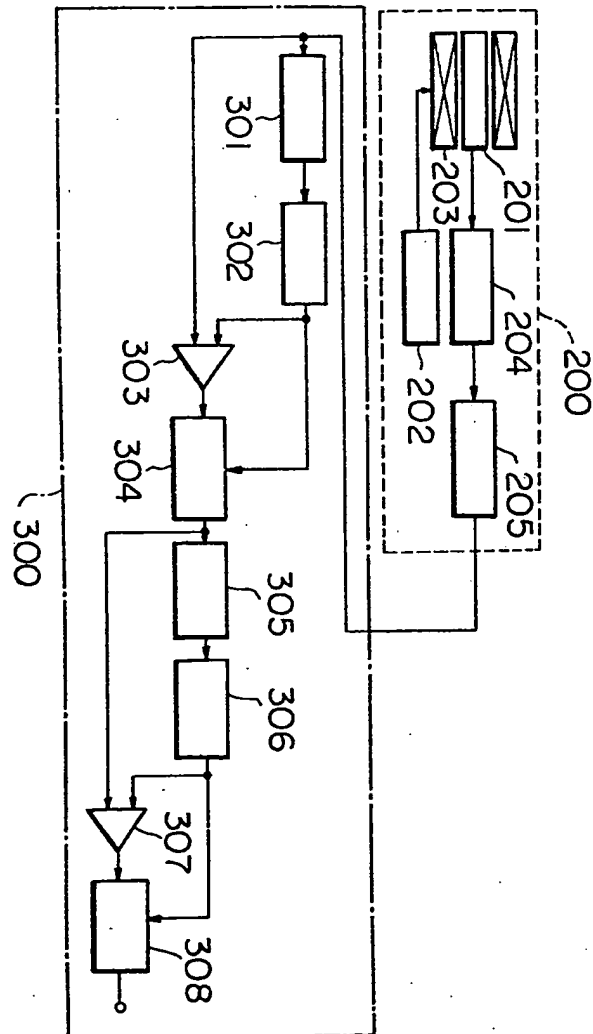


Fig. 14

(a)

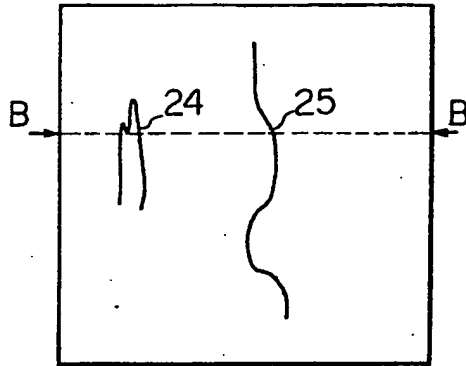


Fig. 14

(b)

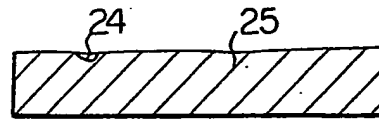


Fig. 15

(a)

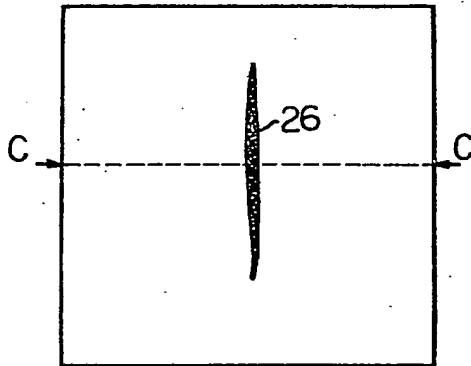


Fig. 15

(b)

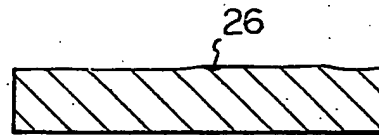


Fig. 16

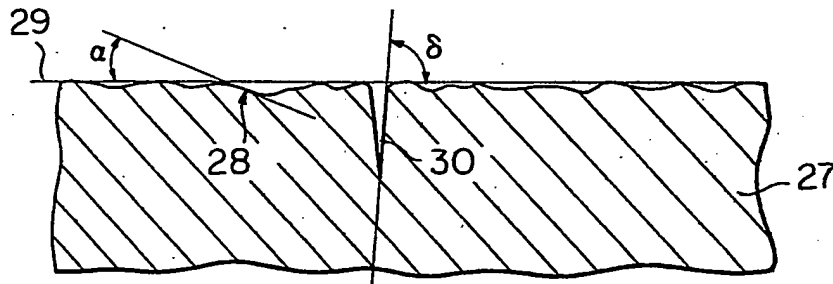


Fig. 17

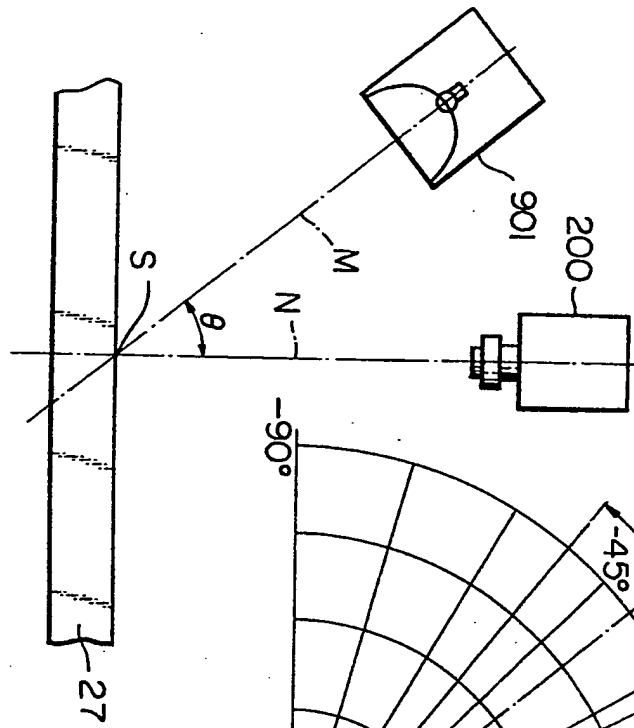


Fig. 18

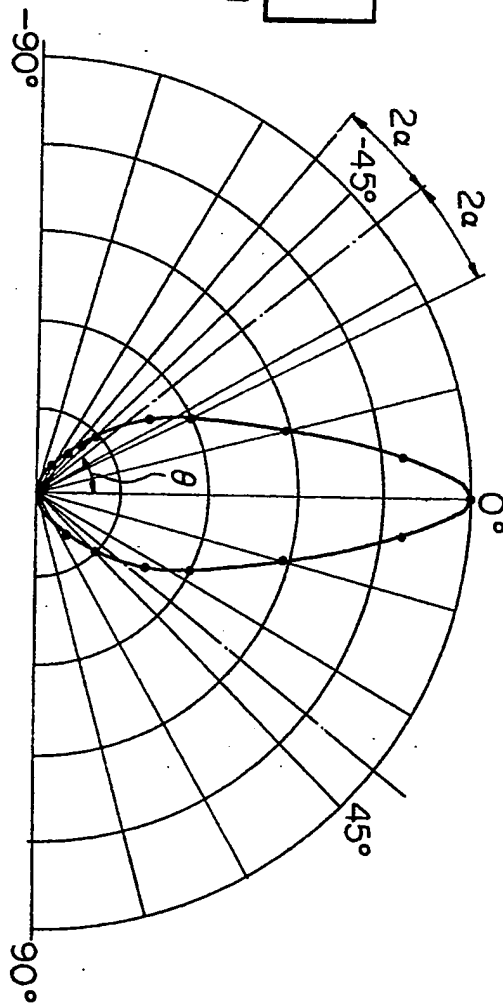


Fig. 19

(a)

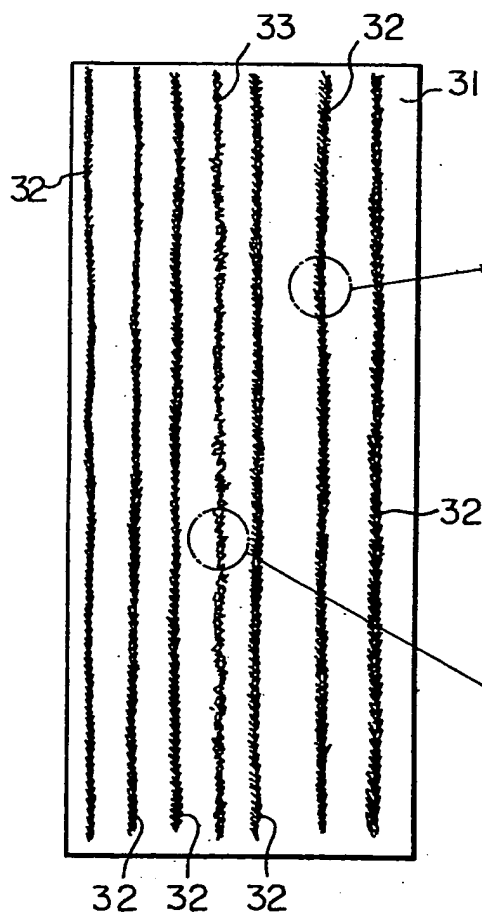


Fig. 19

(b)

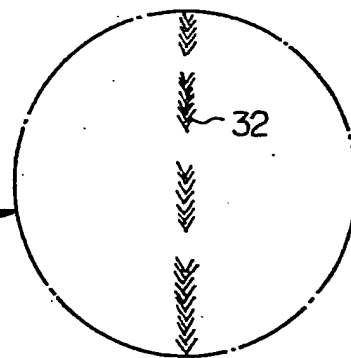


Fig. 19

(c)

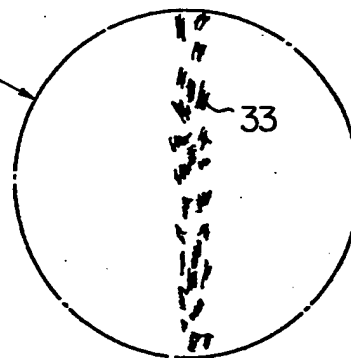


Fig. 20

